

Inhalt

Vorwort zur 5. Auflage.....		5
1	Lichttechnische Grundlagen	17
1.1	Physikalische Grundlagen.....	17
1.1.1	Elektromagnetische Wellen.....	17
1.1.2	Lichtquellen.....	20
1.1.3	Normlichtarten	21
1.2	Größen und Einheiten.....	22
1.2.1	Spektrale Hellempfindlichkeit	22
1.2.2	Lichtstrom Φ	23
1.2.3	Lichtmenge Q	24
1.2.4	Raumwinkel Ω	25
1.2.5	Lichtstärke I	26
1.2.6	Beleuchtungsstärke E	28
1.2.6.1	Fotometrische Grenzentfernung	33
1.2.7	Leuchtdichte L	33
1.2.8	Lichtstärkeverteilungskurve LVK.....	35
1.2.8.1	Polarkoordinatensystem.....	35
1.2.8.2	Kartesisches Koordinatensystem	36
1.2.8.3	Halbwertswinkel.....	37
1.2.9	Kontrastwiedergabefaktor CRF	38
1.3	Lichtausbeute η	39
1.4	Licht und Farbe.....	41
1.4.1	Farbtemperatur T_F	42
1.4.2	Farbwiedergabe-Index R_a bzw. CRI	43
1.4.3	Lampenbezeichnung	45
1.4.4	Das Farbdreieck	46
1.5	Optische Eigenschaften der Materie	47
1.5.1	Absorption	48
1.5.2	Transmission	48
1.5.3	Reflexion	48
1.5.4	Zusammenhänge	50
2	Licht und Sehen	51
2.1	Sehen und Erkennen	51
2.1.1	Das Auge	51

2.1.1.1	Eigenschaften	52
2.1.1.2	Farbwahrnehmung	54
2.2	Wirkungen auf den Menschen	55
2.2.1	Gesundheitliche und psychische Einwirkungen	55
2.2.1.1	Licht als Zeitgeber	56
2.2.2	Licht und Arbeitsbedingungen	57
2.2.3	Dynamisches Licht	60
2.2.3.1	Lichttherapie	60
2.2.3.2	Dynamisches Licht am Arbeitsplatz	61
2.3	Störeinflüsse	62
2.3.1	Blendung	62
2.3.1.1	Schleierleuchtdichte	62
2.3.1.2	Reflexblendung	64
2.3.2	Störende Lampeneinflüsse	66
3	Lampen	67
3.1	Übersicht über die Lampensysteme	67
3.1.1	Lichtwirtschaft	68
3.1.2	Bezeichnung elektrischer Lampen	70
3.1.3	Lampensockel	73
3.1.4	Lebensdauer von Lampen	73
3.1.5	Helligkeitssteuerung	76
3.2	Temperaturstrahler	78
3.2.1	Glühlampen	78
3.2.2	Halogenglühlampen	82
3.2.2.1	Funktionsprinzip	82
3.2.2.2	IRC-Halogenlampen	85
3.2.2.3	Betrieb von Halogenglühlampen	87
3.2.2.4	Elektrische Dimensionierung	88
3.2.2.5	Dimmen von Halogenglühlampen	91
3.3	Niederdruck-Entladungslampen	93
3.3.1	Leuchtstofflampen	95
3.3.1.1	Aufbau und Funktionsweise	96
3.3.1.2	Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaft	98
3.3.1.3	Anwendung verschiedener Leuchtstofflampen	100
3.3.1.4	Start und Betrieb mit 50 Hz	102
3.3.1.5	Elektronische Vorschaltgeräte EVG	107
3.3.1.6	Kompaktleuchtstofflampen steckbar	110
3.3.1.7	Energiesparlampen	113
3.3.1.8	Vergleich zwischen Halogen-Glühlampe und Energiesparlampe	115
3.3.1.9	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen	115

3.3.1.10 Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen im 50-Hz-Betrieb	116
3.3.1.11 Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen im EVG-Betrieb	116
3.3.2 Natriumdampf-Niederdrucklampe	117
3.4 Hochdruck-Entladungslampen	119
3.4.1 Natriumdampf-Hochdrucklampe	120
3.4.2 Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	124
3.4.3 Halogen-Metall dampflampen	125
3.4.3.1 Halogen-Metall dampflampen mit Quarzbrenner	125
3.4.3.2 Halogen-Metall dampflampen mit Keramikbrenner	129
3.4.4 Mischlichtlampe	130
3.4.5 Betriebssysteme für Hochdruck-Entladungslampen	130
3.4.6 Dimmen von Hochdruck-Entladungslampen	132
3.4.6.1 Dimmen von Natriumdampf-Hochdrucklampen	134
3.4.6.2 Dimmen von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	135
3.4.6.3 Dimmen von Halogen-Metall dampflampen	136
3.5 Digitale Lichtsteuerung – DALI	137
3.5.1 DALI: Individuell programmierbar	138
3.5.2 DALI: Für Einzelraumregelung	138
3.6 Lampenbetrieb und Umwelt	139
3.6.1 Energiesparlampen und Elektrosmog	139
3.6.2 Energiesparlampen und Quecksilber	140
3.7 Energie-Etikette	140
3.8 Recycling von Lampen	143
3.9 Lampenwechsel	144
3.9.1 Lampenaustausch	145
3.9.1.1 Einzelwechsel	145
3.9.1.2 Gruppenwechsel	146
3.9.1.3 Dringlicher Lampenwechsel	147
3.9.2 Lebensdauerende kompakter Entladungslampen	147
3.9.2.1 Zyklisches Ein und Aus	148
3.9.2.2 Hochdrucklampen mit keramischem Brenner	148
3.9.3 Wann sind kompakte Entladungslampen zu wechseln?	149
3.9.3.1 Lampenwechsel kompakter Entladungslampen	150
3.10 LED – Light Emitting Diodes	151
3.10.1 Funktionsweise und Herstellung	152
3.10.1.1 Funktionsweise	152
3.10.1.2 Herstellung	156
3.10.1.3 Binning und McAdam	157
3.10.2 Effizienz, Wirkungsgrad, Lebensdauer	158
3.10.2.1 Effizienz und Wirkungsgrad	158

3.10.2.2	LED-Effizienz ist nicht gleich Leuchten-Effizienz	160
3.10.2.3	Lebensdauer der LED.....	161
3.10.3	Stromversorgung von LEDs	165
3.10.3.1	Betrieb am Vorwiderstand.....	165
3.10.3.2	Spannungsgesteuerte LEDs	165
3.10.3.3	Stromgesteuerte LEDs.....	166
3.10.4	Dimmen der LEDs	166
3.10.4.1	Amplitudenmodulation AM	167
3.10.4.2	Pulsweitenmodulation PWM	167
3.10.4.3	Kombination von AM mit PWM	168
3.11	OLED	169
3.11.1	Aufbau	169
3.11.2	Betrieb der OLED	170
3.11.3	Dimmen der OLED	171
3.11.4	Lebensdauer der OLEDs	172
3.11.5	Optische Eigenschaften der OLEDs	172
3.12	LED-Retrofit-Lampen	172
3.12.1	Aufbau	173
3.12.2	Dimmen von LED-Retrofitlampen.....	175
3.12.2.1	Dimmen mit Phasendimmern.....	175
3.12.2.2	Dimmen über digitale netzüberlagerte Signale.....	176
3.12.3	LED-Röhren als Ersatz für Leuchtstofflampen.....	177
3.13	Zhaga spezifiziert LED-Standards.....	178
4	Leuchten.....	181
4.1	Materialeigenschaften.....	182
4.1.1	Lichttechnische Eigenschaften.....	182
4.1.2	Langzeiteigenschaften	184
4.1.3	Reflektorformen	184
4.2	Leuchtenspezifikationen.....	187
4.2.1	Einteilung.....	187
4.2.2	Lichttechnische Eigenschaften	189
4.2.2.1	Lichtstromverteilung.....	189
4.2.2.2	Lichtstärkeverteilung.....	190
4.2.2.3	Leuchtdichteverteilung.....	191
4.2.2.4	Leuchten(betriebs)wirkungsgrad	192
4.2.3	Sicherheitstechnische Anforderungen	193
4.2.3.1	Schutzklassen	193
4.2.3.2	Schutzarten	194
4.2.3.3	Funkstörschutz	196
4.2.3.4	Brandschutz.....	196
4.2.3.5	Explosionsschutz	197

4.2.3.6	Ballwurfsicherheit	198
4.3	Leuchtentypen.....	198
4.4	Klimaleuchten mit Abluftführung.....	201
5	Beleuchtungsplanung im Innenraum.....	205
5.1	Grundlegendes zur Planung	205
5.2	Planung und Informationsumfeld.....	205
5.2.1	Zweckbestimmung der Räume.....	205
5.2.2	Lage des Beleuchtungsobjekts	206
5.2.3	Örtliche und klimatische Verhältnisse	206
5.2.4	Raumgestaltung	206
5.2.5	Personelle Angaben.....	207
5.2.6	Lampenauswahl	208
5.3	Auswirkungen von Projektierungsfehlern	208
5.4	Grundgebote für die Projektierung.....	209
5.4.1	Leuchtdichtevertelung.....	210
5.4.1.1	Kontrastsehen	211
5.4.2	Beleuchtungsstärke	213
5.4.2.1	Beleuchtungsstärkestufen	215
5.4.2.2	Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke.....	218
5.4.2.3	Wartungswert	220
5.4.3	Blendungsbegrenzung	223
5.4.3.1	UGR-Verfahren.....	224
5.4.3.2	Reflexblendung.....	229
5.4.4	Lichtrichtung.....	230
5.4.4.1	Modelling.....	231
5.4.4.2	Schattigkeit	232
5.4.5	Lichtfarbe und Farbwiedergabe	232
5.4.5.1	Lichtfarbe.....	232
5.4.5.2	Farbwiedergabe.....	233
5.5	Lichttechnische Berechnungen.....	233
5.5.1	Richtwerte	233
5.5.2	Punktbeleuchtungsmethode	234
5.5.3	Wirkungsgradmethode.....	236
5.5.3.1	Raumwirkungsgrad η_R	237
5.5.3.2	Beleuchtungswirkungsgrad.....	241
5.5.3.3	Dimensionierung der Beleuchtung	243
5.5.3.4	UGR-Blendungsbewertung	248
5.5.3.5	Auswirkungen von Planungsfehlern	249
5.5.4	Computerunterstützte Planung	250
5.5.4.1	Grundlegende Funktionsweise.....	251
5.5.4.2	Rechengenauigkeit.....	255

5.6	Wahl der Beleuchtungsart	256
5.6.1	Beleuchtungskonzept	256
5.6.1.1	Tageslichtergänzungsbeleuchtung	256
5.6.1.2	Allgemeinbeleuchtung	257
5.6.1.3	Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung	257
5.6.1.4	Einzelplatzbeleuchtung	257
5.6.2	Beleuchtungssysteme	258
5.6.2.1	Direktbeleuchtung	258
5.6.2.2	Indirektbeleuchtung	259
5.6.2.3	Direkt-/Indirektbeleuchtung	260
5.7	Wirtschaftlichkeit	261
5.7.1	Kosten der Beleuchtung	261
5.7.2	Kapitalrückflusszeit	262
6	Ausführung von Innenraumanlagen	265
6.1	Allgemeine Gesichtspunkte	265
6.1.1	Checkliste zur Planung	265
6.1.1.1	Raumeindruck	266
6.1.1.2	Tätigkeiten im Raum	266
6.1.1.3	Lichttechnische Gütemerkmale	267
6.1.1.4	Bauliche Gesichtspunkte	268
6.1.1.5	Leuchtenart	269
6.1.1.6	Planungsschritte	269
6.2	Büro und Verwaltung	271
6.2.1	Räume mit normalen Bürotätigkeiten	276
6.2.1.1	Zellenbüro	276
6.2.1.2	Gruppenbüro	277
6.2.1.3	Großraumbüro	278
6.2.2	Büroräume für spezielle Tätigkeiten	279
6.2.2.1	Räume für Bildschirmtätigkeit	279
6.2.3	Allgemeine Zonen	283
6.3	Unterrichtsstätten	284
6.3.1	Normale Unterrichtsräume	284
6.3.2	Hörsäle	288
6.4	Industrielle Räume	288
6.4.1	Anforderungen	289
6.4.1.1	Beleuchtungsstärke	289
6.4.1.2	Leuchtdichtevertellung	290
6.4.1.3	Blendungsbegrenzung	291
6.4.1.4	Lichtrichtung und Schattigkeit	291
6.4.2	Lampenwahl	291
6.4.3	Leuchtenwahl	293

6.4.3.1	Raumhöhe und Leuchtauswahl	294
6.4.4	Raumfunktion und Beleuchtungsart	296
6.4.4.1	Anordnung von Lichtbändern	296
6.4.5	Spezielle Sehaufgaben	299
6.4.5.1	Spezielle Leuchtenanordnung	299
6.4.5.2	Kontrolltätigkeiten	300
6.4.6	Nebenräume	301
6.5	Handwerk und Gewerbe	303
6.5.1	Landwirtschaft	305
6.5.2	Kfz- und Autolackierwerkstätten	305
6.5.3	Bauschreinerei und Tischlerei	306
6.5.4	Feinmechanische Werkstätten	307
6.6	Schaufenster und Verkaufsräume	308
6.6.1	Schaufenster	308
6.6.1.1	Planerische Hinweise	309
6.6.1.2	Ausbleichen von Farben	312
6.6.1.3	Variable Leuchtenstandorte	313
6.6.2	Verkaufsräume	315
6.6.2.1	Spezifische Funktionen der Beleuchtung	315
6.6.2.2	Planungsgrundsätze	317
6.6.2.3	Beleuchtungskonzepte	319
6.6.2.4	Differenzierte Verkaufsraumbeleuchtung	323
6.7	Gastgewerbe	324
6.7.1	Eingangszonen	324
6.7.2	Restauranräume	326
6.7.2.1	Räume mit gehobenen Ansprüchen	327
6.7.2.2	Schnellimbissräume	328
6.7.3	Treppen und Flure	329
6.7.4	Hotelzimmer	330
6.8	Krankenräume	331
6.8.1	Bettenräume	333
6.8.2	Untersuchungs- und Behandlungsräume	334
6.8.3	Operationssaal	335
6.9	Sporthallen	336
6.9.1	Anforderungen	336
6.9.1.1	Beleuchtungsklassen	336
6.9.1.2	Beleuchtungsstärke	337
6.9.1.3	Blendungsbegrenzung	339
6.9.2	Tennishallen	340
6.9.3	Squash-Hallen	340
6.9.4	Kegelbahnen	341
6.9.5	Schießstände	341

6.9.6	Reithallen	342
6.10	Tageslichtsysteme	342
6.10.1	Die Sonne als Universallichtquelle	342
6.10.1.1	Tageslichtquotient	343
6.10.1.2	Fenster als Lichtfilter	345
6.10.1.3	Grundregeln	346
6.10.2	Oberlichtsysteme mit Ausblenderaster	348
6.10.3	Seitenlichtsysteme	349
6.10.4	Heliostate	350
6.11	Tageslicht und regelbares Kunstlicht	351
6.11.1	Regelkonzepte	352
6.11.1.1	Messen der Leuchtdichte auf einer repräsentativen Fläche	352
6.11.1.2	Messen der Fensterleuchtdichte in einem Einzelraum	353
6.11.1.3	Lichtmanagementsystem	354
6.11.2	Passiv-Infrarot-Präsenzmelder (PIR)	356
6.11.3	Lichtmanagement und Energie-Einsparung	360
6.11.3.1	Unnötigen Energieverbrauch verhindern	360
6.12	Notbeleuchtung	361
6.12.1	Arten der Notbeleuchtung	362
6.12.2	Ersatzbeleuchtung	363
6.12.3	Sicherheitsbeleuchtung	363
6.12.3.1	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege	366
6.12.3.2	Antipanikbeleuchtung	367
6.12.3.3	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung	368
6.12.4	Sicherheitszeichen	368
6.12.5	Schaltung der Sicherheitsbeleuchtung	370
6.12.6	Lichttechnische Projektierung	370
6.12.7	Anlagedokumentation und Abnahmeprüfung	371
7	Wartung und Sanierung von Innenraumanlagen	373
7.1	Wartungsfaktor	373
7.1.1	Wartungsplanung	374
7.1.2	Wartungsplanarten und Wartungsplantypen	374
7.2	Sanierungsgründe	375
7.2.1	Veraltete Beleuchtungsanlagen	376
7.2.2	Bessere Ergonomie	377
7.2.3	Hohes Energie-Einsparpotential	378
7.3	Vorgehen bei der Beleuchtungssanierung	378
7.3.1	Schaufgaben	379
7.3.2	Tageslichtbeleuchtung	379
7.3.3	Beleuchtungskonzept	379

7.3.3.1	Beleuchtungsart	379
7.3.4	Technische Anforderungen	380
7.3.5	Alternativlösungen	380
8	Anlagen im Freien	383
8.1	Straßenbeleuchtung.....	383
8.1.1	Begriffe	384
8.1.2	Bestimmen des Beleuchtungskonzepts.....	386
8.1.2.1	Auswahl der Beleuchtungssituation	386
8.1.2.2	Auswahl Beleuchtungsklassen	388
8.1.3	Blendungsbegrenzung	395
8.1.3.1	Psychologische Blendung	395
8.1.3.2	Physiologische Blendung.....	395
8.1.4	Fahrbahnklassen.....	397
8.1.5	Leuchtdichteberechnung	399
8.1.6	Fußgängerbereiche.....	401
8.1.7	Parkplätze.....	403
8.1.8	Fußgängerüberwege	404
8.2	Arbeitsplätze im Freien	406
8.2.1	Beleuchtungsstärke	407
8.2.1.1	Beleuchtungsstärke der Umgebung.....	407
8.2.1.2	Wartungsfaktor.....	408
8.3	Fassadenanstrahlung.....	408
8.4	Sportanlagen	410
8.4.1	Fußballstadien für TV-Aufnahmen.....	410
8.4.1.1	Flutlicht für Fußballstadien.....	412
8.4.1.2	Beleuchtungsanforderungen der UEFA/FIFA.....	413
8.4.1.3	Lichtquellen und Leuchten	414
8.4.1.4	Planung einer Stadionbeleuchtung.....	415
8.4.2	Fußballplätze.....	415
8.4.3	Tennisplätze.....	417
8.5	Lichtimmissionen und Ökologie	418
8.5.1	Schutz nachtaktiver Insekten	420
9	Pflanzenbestrahlung	423
9.1	Biologische Reaktionen auf Licht	423
9.2	Strahlungsquellen	426
9.3	Praktische Hinweise	428
10	Lichttechnische Messungen.....	431
10.1	Grundlagen	431
10.1.1	Lichtelektrische Empfänger.....	432

10.1.2	Genauigkeitseinflüsse	433
10.1.3	Messgeräte für die Praxis	439
10.1.3.1	Beleuchtungsstärkemesser	439
10.1.3.2	Leuchtdichtemesser	439
10.1.3.3	Weitere Messgeräte	440
10.2	Messungen an Leuchten	441
10.2.1	Lichtstärkeverteilung	442
10.2.2	Leuchtdichtemessung	444
10.2.3	Leuchten-Betriebswirkungsgrad	444
10.3	Messungen im Innenraum	445
10.3.1	Messung der Beleuchtungsstärke	446
10.3.1.1	Leere Räume	447
10.3.1.2	Räume mit Inneneinrichtungen	448
10.3.1.3	Darstellung der Beleuchtungsstärkeverteilung	449
10.3.1.4	Messung des Tageslichtquotienten	449
10.3.2	Messung der Leuchtdichte	451
10.3.2.1	Örtliche Leuchtdichte	451
10.3.2.2	Mittlere Leuchtdichte	452
10.3.3	Reflexion der Raumbegrenzungsfläche	452
10.3.4	Farben messen	453
10.3.5	Einflussgrößen	454
10.3.6	Auswerten der Messung	455
10.3.6.1	Korrekturfaktoren	455
10.3.6.2	Messprotokoll	457
10.3.6.3	Genauigkeit der Messung	457
11	Normen	459
	Stichwortverzeichnis	465